

Braun, Anna K.; Meier, Michaela

**Wie Gehirne laufen lernen oder: "Früh übt sich, wer ein Meister werden will!". Überlegungen zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung "Neuropädagogik"**

*Zeitschrift für Pädagogik 50 (2004) 4, S. 507-520*



Quellenangabe/ Reference:

Braun, Anna K.; Meier, Michaela: Wie Gehirne laufen lernen oder: "Früh übt sich, wer ein Meister werden will!". Überlegungen zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung "Neuropädagogik" - In: Zeitschrift für Pädagogik 50 (2004) 4, S. 507-520 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-48248 - DOI: 10.25656/01:4824

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-48248>

<https://doi.org/10.25656/01:4824>

in Kooperation mit / in cooperation with:

**BELTZ**

<http://www.beltz.de>

**Nutzungsbedingungen**

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

**Terms of use**

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

**Kontakt / Contact:**

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

**Inhaltsverzeichnis**

*Thementeil: Gehirnforschung und Pädagogik*

*Ulrich Herrmann*

Gehirnforschung und die Pädagogik des Lehrens und Lernens:

Auf dem Weg zu einer „Neurodidaktik“? ..... 471

*Norbert Sachser*

Neugier, Spiel und Lernen:

Verhaltensbiologische Anmerkungen zur Kindheit ..... 475

*Gerald Hüther*

Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung  
des menschlichen Gehirns. Welche sozialen Beziehungen brauchen

Schüler und Lehrer? ..... 487

*Gerhard Roth*

Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? ..... 496

*Anna Katharina Braun/Michaela Meier*

Wie Gehirne laufen lernen oder:

„Früh übt sich, wer ein Meister werden will!“. Überlegungen zu einer

interdisziplinären Forschungsrichtung „Neuropädagogik“ ..... 507

*Sabine Pauen*

Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung:

Modethema oder Klassiker? ..... 521

*Elsbeth Stern*

Wie viel Hirn braucht die Schule? Chancen und Grenzen

einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung ..... 531

## *Allgemeiner Teil*

*Axel Nath/Corinna M. Dartene/Carina Oelerich*

Der historische Pygmalioneffekt der Lehrergenerationen  
im Bildungswachstum von 1848 bis 1933 ..... 539

*Norbert Wenning*

Heterogenität als neue Leitidee der Erziehungswissenschaft.  
Zur Berücksichtigung von Gleichheit und Verschiedenheit ..... 565

*Maya Kandler*

Interessefördernde Aspekte beim Lernen mit Lernsoftware  
aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern ..... 583

## *Diskussion*

*Klaus Prange*

Über die Kunst des Rezensierens ..... 606

## *Besprechungen*

*Rudolf Tippelt*

Peter Faulstich: Weiterbildung – Begründungen Lebensentfaltender Bildung ..... 613

*Heidemarie Kemnitz*

Friedrich Adolph Wilhelm Diesterweg: Briefe, amtliche Schreiben und Lebensdokumente aus den Jahren 1810 bis 1832 ..... 615

*Rainer Kokemohr*

Christian Niemeyer: Nietzsche, die Jugend und die Pädagogik. Eine Einführung .... 618

## *Dokumentation*

Pädagogische Neuerscheinungen ..... 623

Anna Katharina Braun/Michaela Meier

## Wie Gehirne laufen lernen oder: „Früh übt sich, wer ein Meister werden will!“

Überlegungen zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung „Neuropädagogik“

**Zusammenfassung:** Lernen in frühester Jugend unterscheidet sich vom Lernen bei Erwachsenen darin, dass Erfahrungen und Lernprozesse im kindlichen Gehirn viel massivere und auch dauerhaftere Spuren hinterlassen als im erwachsenen Gehirn, wo es nur noch zu vergleichsweise geringfügigen Veränderungen im Verlauf von Lernprozessen kommt. Tierexperimentelle Forschungsergebnisse aus der Hirnforschung weisen darauf hin, dass frühe Sinneseindrücke, Erfahrungen und Lernprozesse hirnbio-logisch betrachtet dazu „benutzt“ werden, die Ausreifung der noch unreifen funktionellen Schaltkreise, insbesondere des limbischen „Belohnungs-“ Systems im Gehirn zu optimieren. Salopp ausgedrückt könnte man dies in der Computersprache mit der „Formatierung der Festplatte“ vergleichen. Somit werden in der „Hardware“ – dem Gehirn – schon relativ früh im Leben prinzipielle Konzepte für späteres Lernen, und auch für die mit jedem Lernprozess untrennbar verknüpfte emotionale Erlebniswelt angelegt.

### 1. Die Verknüpfung von Lernen, Spielen und Emotionen

Es ist keine neue Erkenntnis, dass „Bildung von Anfang an“ die Startchancen in der Schule erheblich verbessern. Aus psychologischer, pädagogischer, aber noch vielmehr auch aus biologischer Sicht ist seit langem klar, dass Spielen und Lernen zusammengehören. Bereits Plato wusste, dass spielerische Handlungen eine Vorbereitung auf Handlungsweisen im Erwachsenenalter sind, und er empfahl, Kindern Spiel- und Werkzeuge zu geben, um sie diese Fähigkeiten üben zu lassen. Lernen bedeutet also auch Spielen, d.h. Lernen macht Spaß und ist nicht notwendigerweise gekoppelt an das übliche Schulbankdrücken. Kinder *wollen* von sich aus, von Geburt an, viel lernen, sie gehen Dingen neugierig auf den Grund. Dabei hilft ihnen eine reichhaltig gestaltete Umgebung, in der viel zu tun, zu erforschen und zu begreifen ist. Um sie in ihrer natürlichen Neugier zu unterstützen, sollten Eltern und Erzieher darauf achten, dass die *eigenen* Entdeckungen und Erklärungsansätze der Kinder im Gespräch, Spiel und gemeinsamem Tun ernst genommen werden, um die Lernfreude der Kinder zu stärken.

Dieser seit langem bekannte, angeborene „Lerntrieb“ der Kinder kann mittlerweile auch neurobiologisch erklärt werden: das Gehirn „sucht“ sich seine Anregungen, es „sucht“ nach Abwechslung, und es versucht, Denk- und Erklärungskonzepte zu erstellen. Der Grund für diese Rastlosigkeit, insbesondere des noch ganz jungen, unerfahrenen Gehirns: Jeder Lernerfolg führt zu einem Glücksgefühl, welches, wie im Tierexperiment gezeigt werden konnte, über die Ausschüttung körpereigener „Glücksdrogen“ vermittelt wird (Stark/Bischof/Scheich 1999, 2000, 2001). Das kindliche Gehirn ist sozusagen von Natur aus „lernsüchtig“, es sucht nach dem „Kick“ und nutzt hierzu seine offenbar unerschöpfliche Leistungskapazität.

Lernen ist nicht passive Wissensaufnahme („Nürnberger Trichter“), das Wissen *entsteht* im Netzwerk Gehirn selbst. Lernen ist immer mit Emotionen verknüpft, was auch darin begründet liegt, dass die hirnbioologischen Strukturen, das limbische System, sowohl beim Lernen als auch bei der emotionalen Verhaltenssteuerung eine herausragende Rolle spielt (vgl. den Artikel von Roth in diesem Heft). Lernen und die damit verknüpften Emotionen verursachen (schnelle) biochemische und (langfristige) strukturelle Veränderungen der Synapsen (= Informationskanäle) im Gehirn. Lernen folgt der Regel von Donald Hebb „*neurons that fire together wire together*“, d.h. nur Nervenzellen, die synchron erregt werden, bilden miteinander Kontaktstellen (Synapsen) aus.

## 2. Das Fundament: Frühes Lernen prägt die Netzwerke des Gehirns

Ein ganz entscheidender Unterschied zwischen dem erwachsenen erfahrenen Gehirn und dem kindlichen noch unreifen, im Wachstum befindlichen Gehirn besteht darin, dass kognitive, vor allem aber auch emotionale Erfahrungen im kindlichen Gehirn viel massivere und auch dauerhaftere Spuren hinterlassen als im erwachsenen Gehirn, wo nur noch vergleichsweise subtile Veränderungen beim Lernen stattfinden. In jeder Entwicklungsphase des Gehirns, den neurobiologisch definierten „sensiblen“ oder „kritischen“ Entwicklungs-„Zeitfenstern“<sup>1</sup>, werden über Erfahrungen und Lernvorgänge neuronale Strukturen „geprägt“, die das hirnbioologische Substrat für alle weiteren Lernprozesse bis zum Erwachsenenalter bilden. Mit anderen Worten: Frühe Sinneseindrücke, Erfahrungen und Lernprozesse werden, geirnbioologisch betrachtet, dazu benutzt, die Entwicklung und Ausreifung der noch unreifen funktionellen Schaltkreise im Gehirn zu optimieren. Während dieser kritischen oder „sensiblen“ Zeitfenster werden die Denkkonzepte, die „Grammatik“ für späteres Lernen, und auch für die mit jedem Lernprozess untrennbar verknüpfte emotionale Erlebniswelt angelegt.

Auch Gefühle, positive wie auch negative, sind untrennbar mit dem Lernen verknüpft, d.h. es muss größter Wert auf das soziale und emotionale Umfeld gelegt werden. Demzufolge liegt es auf der Hand, dass Versäumnisse während der kritischen Entwicklungszeitfenster – das Vorenthalten von Gefühlen und Spiel, Erfahrungen und Lernen und den damit gekoppelten Erfolgs-(Glücks-)Erlebnissen – oder das Erzeugen von Entmutigung und Frustration die Ausreifung der lernrelevanten Gehirnsysteme negativ beeinflussen muss (Braun/Bogerts 2000). Umgekehrt jedoch bietet dieser ausgefeilte geirnbioologische Mechanismus der Umwelt, d.h. den Eltern, Erziehern und Lehrern, eine

1 In tierexperimentellen Studien wurden für die verschiedenen funktionellen Hirnsysteme charakteristische „sensible“ oder „kritische“ Zeitfenster im Verlauf ihrer funktionellen Reifung identifiziert. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei den höher entwickelten Wirbeltieren, insbesondere dem „Spät-“ bzw. „Langsamentwickler“ Mensch der Beginn und das Ende solcher sensibler Phasen nie völlig scharf definiert sind, da deren Dauer u.a. in nicht unerheblichem Maße von den Umwelteinflüssen mitbestimmt wird. Es ist anzunehmen, dass die sensiblen Zeitfenster der Hirnentwicklung das neurologische Korrelat der sensiblen Phasen der Verhaltensentwicklung darstellen. Vgl. den Beitrag von S. Pauen in diesem Heft.

bislang weit unterschätzte Chance, um die funktionelle Entwicklung des kindlichen Gehirns wesentlich zu beeinflussen, d.h. biologisch betrachtet dafür zu sorgen, aus den genetisch vorgeformten Entwicklungsprogrammen das optimale Ergebnis herauszuholen (Helmeke u.a. 2001a,b; Bock/Braun 1999a,b). Ein wichtiges Merkmal der frühkindlichen Entwicklungszeitfenster ist, dass sie zeitlich begrenzt geöffnet sind, d.h. sie dürfen nicht ungenutzt verstreichen, sondern müssen für die entsprechenden Fähigkeiten (z.B. den Spracherwerb) genutzt werden, denn hier gilt leider, wenn auch nicht in radikaler Absolutheit, der alte Spruch „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“.

Die kritischen Zeitfenster der psychischen bzw. geirnbologischen Entwicklung liegen jedoch weit vor der Zeit, in der die schulische Bildung einsetzt; sie liegen in den ersten drei bis fünf Lebensjahren, wobei sich aufgrund der Individualität der Entwicklungsverläufe eine Festlegung auf ein bestimmtes biologisches Alter verbietet. Das heißt „die Schule muss mit der Geburt beginnen“, um bleibende und im weiteren Leben positiv nutzbare Spuren im Gehirn zu hinterlassen.

Es sei bereits an dieser Stelle ausdrücklich betont, dass absolut kein Grund zu der Befürchtung besteht, dass das kindliche Gehirn in seiner Leistungskapazität „überfordert“ werden könnte! Was im landläufigen Sinne als „Überforderung“ oder Lernproblem bezeichnet wird, erweist sich bei näherer Betrachtung entweder als Unterforderung oder, schlimmer noch, als das Ergebnis von Pauken (z.B. zu viel Lehrstoff in zu langen Unterrichtseinheiten), Drill (z.B. zu lange Phasen des Stillsitzens), Entmutigung, Frustration und dadurch ausgelöschter Wissbegier und Verlust der angeborenen Freude am Lernen.

### **3. Die „Hardware“: Befunde aus der neurobiologischen Forschung**

Fragen von Entwicklungsbiologen – „Was steuert die Entwicklung des Gehirns?“ „Welche Faktoren und Mechanismen sind an der Bildung von Nervenzellen (Abb. 1, S. 510) und ihren komplexen synaptischen Verschaltungen (Abb. 1 und 3, S. 511) beteiligt?“ – sind ganz eng gekoppelt an Fragen, die sich Eltern und Erzieher stellen: Können diese funktionellen Einheiten des Gehirns bei mangelnder Förderung verkümmern, und wie können wir ihre funktionelle Entwicklung optimal fördern?

In allen Entwicklungsstadien kommt es zu einer subtilen Wechselwirkung zwischen genetisch determinierten, d.h. angeborenen, „vorprogrammierten“ zellulären und molekularen Programmen, und von Umwelteinflüssen, Erfahrungen und Lernvorgängen (Abb. 2, S. 510). Während die genetische Ausstattung den groben Schaltplan des Gehirns und die grundlegenden Antwortigenschaften der Nervenzellen und damit auch die prinzipiellen Eigenschaften der wahrnehmbaren Reize und der prinzipiellen Hirnfunktionen bestimmt, dient die erfahrungs- und lerngesteuerte Feinabstimmung dieser Schaltpläne der Präzisierung und Optimierung der neuronalen und synaptischen Netzwerke. Vor der Geburt dominieren zunächst die genetisch determinierten molekularen Programme, die durch die auf den Fetus einwirkenden noch sehr eingeschränkten Umwelteinflüsse nur in relativ geringem Maße moduliert werden.

**Positive Erfahrungen**  
(z.B. Erfolge!)  
beim Spielen und Lernen  
optimieren die Hirnfunktionen

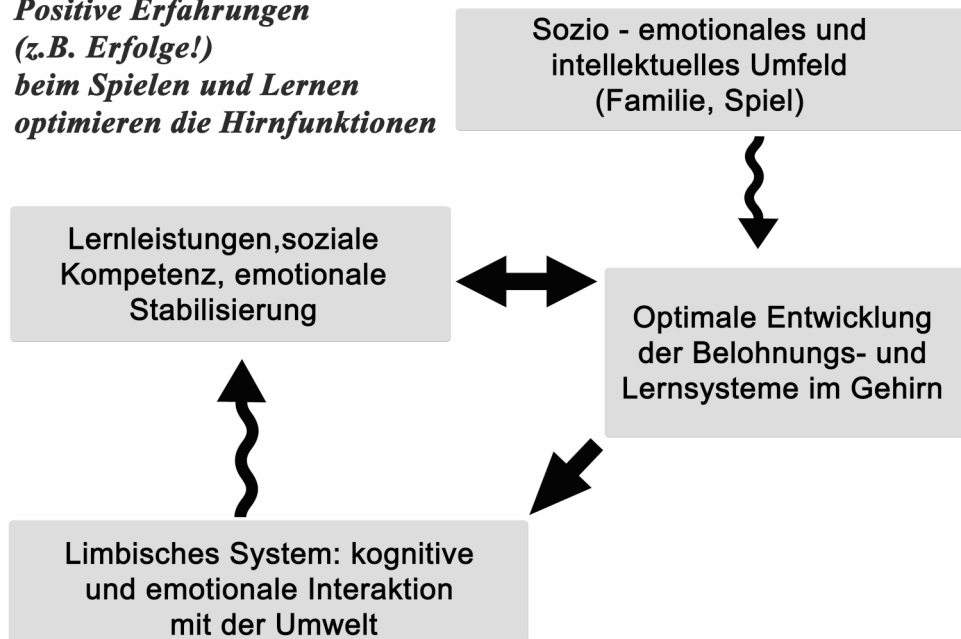


Abb. 1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Umwelterfahrungen und der Entwicklung von Gehirn und Verhalten.

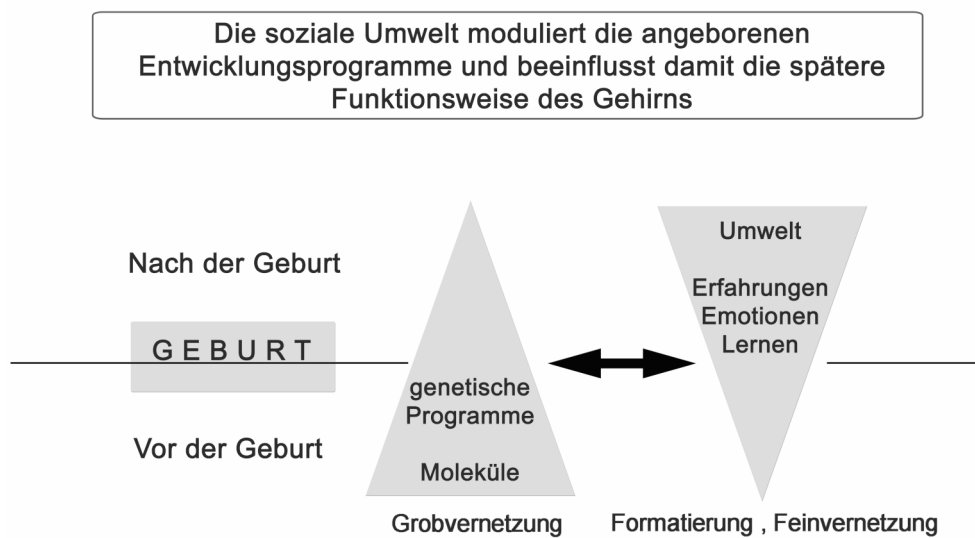


Abb. 2: Die Frage: Was ist angeboren und was ist erworben ist „out“: Umwelteinflüsse steuern die genetischen und molekularen Vorgänge in den heranreifenden Zellen des Gehirns.

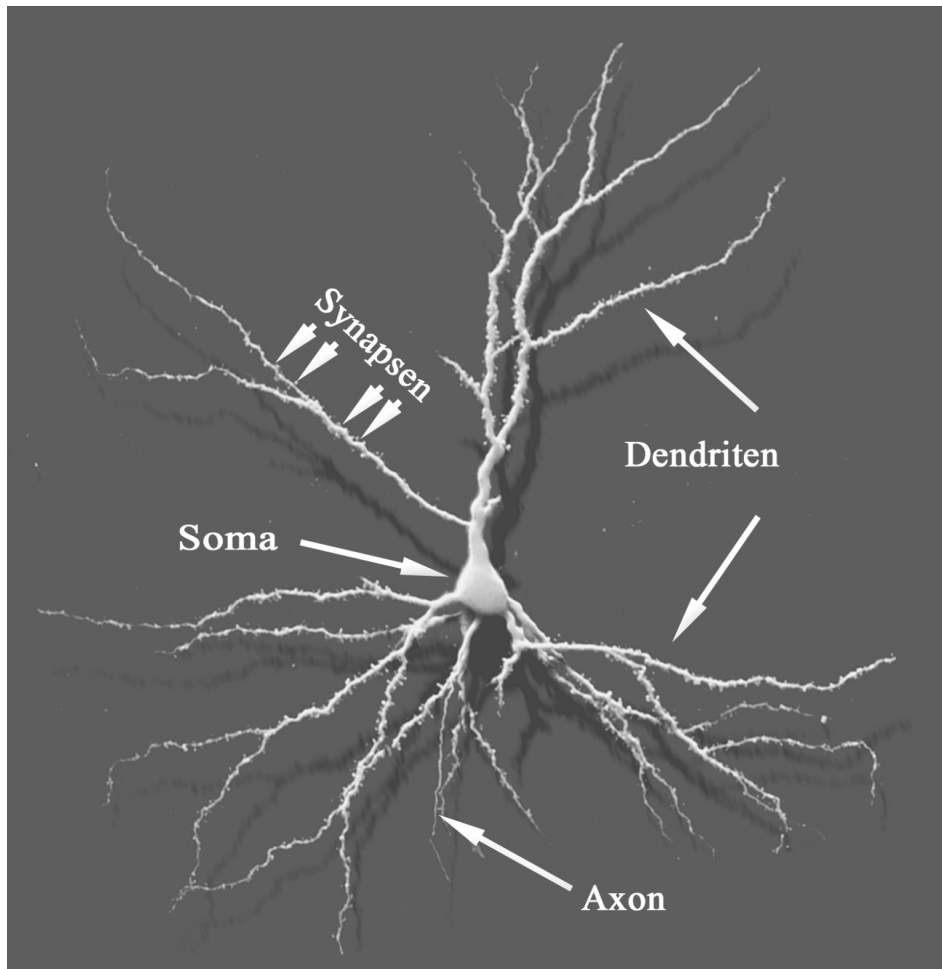


Abb. 3: Eine Nervenzelle mit dem Zellkörper (Soma), ihren „Empfängerstrukturen“ (Dendriten) und der „Senderstruktur“ (Axon) und den informationsübertragenden Strukturen (Synapsen), an dem Dendrit und Axon aufeinander treffen.

Solche relativ ‚starr‘ festgelegten genetischen und molekularen Entwicklungsprogramme stellen einen Sicherheitsfaktor dar, um eine normale Entwicklung und Reifung des Gehirns selbst unter suboptimalen Umweltbedingungen (z.B. Mangelernährung, Stress der Mutter, mechanische Einwirkungen auf den Mutterleib usw.) zu gewährleisten und diese gegenüber störenden Umweltfaktoren abzuf puffern. Die Nervenzellen oder Neurone (zu den Fachbegriffen vgl. das Glossar am Ende dieses Artikels) bilden mithilfe langer „Kabel“, den Axonen (Abb. 1) Kontakte mit anderen Neuronen, die Synapsen, an denen Informationen (z.B. Sinneswahrnehmungen, Steuerung von Bewegungen usw.) in Form von elektrischen und chemischen Signalen übertragen werden. Die Axone der „Senderzelle“ bilden diese Synapsen auf den weitverzweigten Dendritenbäumen der „Empfängerzelle“ aus, und diese „Antennen“ oder Empfangsstationen sammeln und



„verrechnen“ alle ankommenden Signale und leiten diese dann weiter an den Zellkörper, das Soma.

Alle über unsere Sinnesorgane wahrgenommenen Informationen aus der Umwelt werden über solche synaptischen Netzwerke zunächst registriert, dann hinsichtlich ihrer Bedeutung analysiert und schließlich im Gedächtnis abgespeichert, wo sie dann später wieder abgerufen werden können. Unsere Verhaltensweisen im Dialog mit unserer täglichen Umwelt werden ebenfalls, in Abhängigkeit von den wahrgenommenen Umweltreizen und den im Gedächtnis verbliebenen Vorerfahrungen und Informationen, von solchen neuronalen Netzwerken gesteuert.

Die Balance dieser Wechselwirkung von endogenen und exogenen Faktoren verschiebt sich im Verlauf der Gehirnentwicklung. Während der Fetus zunächst seiner Umwelt im Mutterleib, d.h. der molekularen Zusammensetzung des Fruchtwassers sowie den durch die Plazenta zugeführten Nähr-/Giftstoffen und Hormonen mehr oder weniger passiv ausgesetzt ist, nehmen mit zunehmender Funktionsfähigkeit des reifen Gehirns die Wahrnehmung und dadurch auch der regulatorische Einfluss der Umwelt auf die zelluläre Entwicklungsmaschinerie bereits im Mutterleib immer mehr zu. Der Embryo kann in immer stärkerem Maße aktiv seine Umwelt wahrnehmen und, wenn auch in begrenztem Maße, durch seine Verhaltensreaktionen über die Mutter mit seiner Umwelt kommunizieren. Bei der Geburt nimmt dann die Komplexität der erfahrbaren Umwelt noch einmal sprunghaft zu. Die neu hinzukommenden sensorischen, motorischen und vor allem auch die emotionalen Erfahrungen übernehmen jetzt die Regie über die genetische und molekulare Zellmaschinerie, um die weitere Hirnentwicklung optimal auf die Umwelt- und Lebensbedingungen des heranwachsenden Individuums abzustimmen, mit all seinen individuellen Eigenschaften und Talenten, aber auch mit seinen Limitierungen und Fehlfunktionen.

Ein solch weitreichender Einfluss von Lern- und Erfahrungsprozessen bei der Gehirnentwicklung wurde jahrzehntelang gewaltig unterschätzt. Man nahm lange Zeit an, dass ebenso wie z.B. die Augen-, Haut- oder Haarfarbe genetisch festgelegt sind, auch die Entwicklung, die spätere Funktionsweise und die Leistungskapazität des Gehirns intern vorprogrammiert seien und innerhalb des ersten Lebensjahres fixiert werden. Systematische tierexperimentelle Untersuchungen in den letzten Jahren zeigen jedoch immer mehr, dass die Reichhaltigkeit und der Abwechslungsreichtum der Umwelt letztendlich darüber bestimmt, wie komplex sich die zellulären informationsübertragenden Strukturen des Gehirns entwickeln und miteinander kommunizieren. Eine abwechslungsreiche, interessante und anregende Umwelt regt das Gehirn zu einer verstärkten Aktivität an, und dadurch kann sich z.B. die Sterberate von Nervenzellen und deren synaptischen Kontakte vermindern, die Axone und Dendriten der häufiger aktivierten Nervenzellen verlängern sich, und sie bilden mehr synaptische Kontakte untereinander aus. Hingegen führt ein Mangel oder das völlige Fehlen an anregenden Umwelteinflüssen – wie es am Beispiel von Kaspar Hauser berühmt geworden ist, oder das wiederholte Auftreten von angstvollen oder schmerzhaften Erlebnissen – zur Unter- oder Fehlentwicklung der zellulären Komponenten des Gehirns. So wie sich ein untrainierter Muskel nur schwächlich entwickelt, entsteht bei mangelnder Anregung ein Gehirn mit vermin-

derter oder gestörte Leistungskapazität, was dann schließlich zu Lern- und Verhaltensstörungen führen kann.

Hier kommt nun die Erziehung durch die Eltern und die Erzieher in Kinderkrippe, Kindergarten und Schule ins Spiel. Beobachtungen an Heimkindern Mitte des 19. Jahrhunderts und auch die in jüngster Zeit an Kindern in rumänischen Waisenhäusern erhobenen Befunde zeigen ganz klar, welch verheerende Wirkung ein Mangel an emotionaler Zuwendung auf die Entwicklung kognitiver und emotionaler Fähigkeiten hat.

#### **4. „Früh übt sich, wer eine Meister werden will“ und „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“**

Diese Lebensweisheiten kennen die meisten von uns von den Eltern oder Großeltern. Die Erkenntnisse aus der neurobiologischen Grundlagenforschung erweitern die Bedeutung dieser Spruchweisheiten um eine entwicklungsbiologische Komponente, indem sie das Verhalten des Kindes und die Gehirnfunktionen miteinander verknüpfen. Ein nicht nur für den Entwicklungsbiologen, sondern auch für Kinderärzte, Erzieher und Eltern bedeutsames Charakteristikum sowohl der psychischen Entwicklung als auch der Entwicklung des Gehirns sind „sensible“ Phasen, d.h. mehr oder weniger scharf begrenzte Zeitfenster, während derer sich bestimmte Verhaltens- und Hirnleistungen entwickeln (vgl. auch Artikel von S. Pauen in diesem Heft). Jeder weiß aus eigener Erfahrung, dass Verhaltensweisen – insbesondere dann, wenn sie mit bestimmten positiven oder negativen Emotionen verknüpft waren, z.B. Gewohnheiten und Vorlieben –, die in früher Kindheit erworben wurden, gewissermaßen „eingepägt“ worden sind, also mehr oder weniger unverändert ein Leben lang erhalten bleiben.

Tierexperimentelle Befunde bestätigen dies, und sie zeigen darüber hinaus, dass eine der Ursachen für diese deprivationsinduzierten Lern- und Verhaltensdefizite die gestörte Reifung des für Lernen und Gedächtnisbildung und die emotionale Steuerung des Verhaltens verantwortlichen limbischen Systems ist (vgl. auch Artikel von G. Roth in diesem Heft). Das Gehirn von Wirbeltieren einschließlich des Menschen wird, gewissermaßen als Sicherheitsfaktor, mit einem Überschuss an Nervenzellen und synaptischen Verschaltungen geboren. Die Natur betätigt sich nun gewissermaßen als „Bildhauer“, der aus einem groben unstrukturierten Stein durch Wegnahme überflüssigen Materials eine vollendete Statue erschafft. Aus dem Überangebot an neuronalen Verschaltungen werden diejenigen Synapsen, die durch frühe Erfahrungen und Lernprozesse häufig und stark aktiviert werden, selektiv erhalten und verstärkt, während die Verbindungen, die selten, nur schwach oder gar nicht aktiviert werden, abgebaut werden. Es scheint also, als ob gerade die frühen Erfahrungen ihren „Abdruck“ in dem sich noch entwickelnden und daher im Vergleich zum erwachsenen Gehirn noch sehr viel stärker modellierbaren Gehirn hinterlassen und dadurch unsere Verhaltensweisen nachhaltig beeinflussen und manchmal sogar unveränderbar festlegen. Je nach den in früher Jugend vorliegenden Umweltbedingungen kann sich diese Plastizität, d.h. die starke Veränderbarkeit des jungen Gehirns, sowohl in positiver aber auch in negativer Weise aus-

wirken. Dies impliziert, dass es insbesondere die ganz frühen Erfahrungen sind – während und in den Wochen und Monaten nach der Geburt –, die vermutlich das Gehirn am nachhaltigsten formen. Welche Umweltfaktoren hier eine Rolle spielen und welche zellulären Mechanismen an der erfahrungsgesteuerten Hirnentwicklung beteiligt sind, ist noch weitgehend unbekannt und wird derzeit in Modellexperimenten an Tieren untersucht. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass Ratten oder Hühnerküken, die während früher Entwicklungsphasen wiederholt oder ständig von den Eltern getrennt wurden, einen deutlich reduzierten Stoffwechsel, d.h. eine verminderte Aktivität der Zellen im präfrontalen Cortex (und anderen limbischen Hirnregionen) aufweisen, einer insbesondere beim Affen und Menschen besonders ausladend entwickelten Cortexregion im Stirnbereich, die sowohl bei der Wahrnehmung von emotionalen Signalen (z.B. durch Mimik oder Sprache) als auch bei der Steuerung emotionaler Verhaltensweisen eine wichtige Rolle spielt.

Da Nervenzellen für die Ausbildung ihrer synaptischen Verschaltungen (den Informationskanälen) Aktivität benötigen und daher einen sehr hohen Energiebedarf haben, müsste eine wiederholte oder ständige Absenkung des Energiestoffwechsels zwangsläufig zu einer verzögerten oder fehlerhaften Reifung der Synapsen führen. In der Tat zeigen Tiere, die wiederholtem Stress ausgesetzt wurden, im Präfrontalcortex und anderen limbischen Hirnregionen eine veränderte Anzahl von erregenden Synapsen auf, die sogenannten Spinesynapsen; im Falle des anterioren cingulären Cortex sind diese z.B. vermehrt (Abb. 3). Diese vermutlich überzähligen (entweder neu gebildeten oder unvollständig abgebauten) Informationskanäle könnten im Gehirn zu Störungen in der Informationsverarbeitung führen, die sich dann z.B. in Verhaltens- oder Lernstörungen niederschlagen. Bei bestimmten Formen von Schizophrenie, Depressionen und auch beim einer genetisch determinierten Form des Schwachsinn, dem fragilen X mentalen Retardierungs-Syndrom, wurden ebenfalls erhöhte oder auch erniedrigte Synapsendichten festgestellt.

## 5. Zusammenfassung

Fassen wir also noch mal einige der gehirnbologischen Erkenntnisse zusammen, die für eine interdisziplinäre Forschungsrichtung „Neuropädagogik“ von grundlegender Bedeutung sind:

- Die Fähigkeit und Bereitschaft zum Lernen ist angeboren, das Gehirn ist von Geburt an „neugierig“.
- Das Gehirn arbeitet immer, d.h. Lernen findet ganztägig (und vermutlich sogar im Schlaf) statt. Das Lernen in der Schule sollte daher (für Schüler und Lehrer) genauso vergnüglich sein wie Lernen außerhalb der Schule.
- Das Gehirn ist immer auf der Suche nach Erfahrungen, nach Erlernbarem, mit denen es sich über Erfolgserlebnisse chemisch belohnen, also ein „Lusterlebnis“ verschaffen kann. Dieses Prinzip gilt im Übrigen auch für die Gehirne der Erzieher, die ebenfalls „Glückserlebnisse“ im Umgang mit ihren Schülern brauchen!

- Belohnung/Erfolg ist für das Gehirn: positive Verstärkung durch Lob und Belohnung, aber auch die Möglichkeit zur Vermeidung von Strafe.
- Auch Stress und Anstrengung gehört zum Lernen: Wechsel von „Lob und Tadel“ hält das Gehirn unter „Spannung“, fördert das Lernen und erzeugt im Gehirn ein Wechselbad der chemischen Botenstoffe.
- Das kindliche Gehirn kann in seiner enormen Leistungsfähigkeit kaum überfordert werden, die Gefahr liegt eher in einer Unterforderung. Es kann jedoch demotiviert werden, z.B. durch langweiliges „Pauken“, ständige Misserfolge, destruktive oder inkonsequente Kritik, Strafen, Demütigung.
- Es gibt Zeitfenster der Hirnentwicklung, insbesondere des spät und langsam reifenden Präfrontalcortex; diese sensiblen Phasen beginnen bei der Geburt und liegen in der vorschulischen und frühen schulischen Lebensphase (= Pubertät, für den Präfrontalcortex aber sogar bis ins 20. Lebensjahr hinein).
- Die Hirnentwicklungsphasen korrelieren mit den Phasen optimaler Lernfähigkeit: Sehen, Hören, Spracherwerb, kognitive (= Denk-/Lern-) Leistungen, sozio-emotionales Verhalten.
- Die geistige und ganz besonders die emotionale Förderung des Kindes durch die Eltern stellt die Weichen für das (vor-)schulische Lernen.
- Frühe Erfahrungen hinterlassen ihre „Abdrücke“ (Prägung!) im heranreifenden Gehirn, insbesondere im spät entwickelnden limbischen System, dem „Emotionssystem“. In der frühen Kindheit (die ersten drei bis vier Jahre) wird im Wechselspiel zwischen Kind und Bezugsperson die „Grammatik“ und die „Sprache“ der Gefühle erworben („Früh übt sich, wer ein Meister werden will“).
- Diese Grammatik/Sprache wird in der „Hardware“ (= limbisches System) im Gehirn festgehalten (etwa vergleichbar mit der Formatierung der Festplatte eines Computers). Hiermit werden die emotionalen und kognitiven Kapazitäten für das spätere Leben festgelegt.
- Defizite der emotionalen Umwelt während dieser Entwicklungsphasen führen zur fehlerhaften Entwicklung emotionaler Schaltkreise im Gehirn. Resultat: emotionale „Sprachfehler“ oder „Verstummung“ (Gefühlsarmut), die sich auch auf die Lernleistungen auswirkt (Fehlfunktion des „Belohnungssystems“ im Gehirn). Gerade die emotionalen Defizite sind mit zunehmendem Alter nur langsam und nicht immer vollständig korrigierbar, da die Plastizität des Gehirns abnimmt. Was in den ersten Lebensjahren in kürzester Zeit erworben werden kann (oder versäumt wird), erfordert mit zunehmendem Alter wesentlich längere Zeiträume. („Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“).

## 6. Schlussfolgerungen und Ausblick auf eine interdisziplinäre Forschungsrichtung „Neuropädagogik“

Können positive und negative Gefühlserfahrungen während der ersten Lebensphase auch beim Menschen die Entwicklung synaptischer Verschaltungsmuster im limbischen

System beeinflussen? Klinische Studien weisen immer mehr in diese Richtung. Belastende Ereignisse wie der Verlust oder die Trennung der Eltern oder Misshandlungen könnten auch beim menschlichen Säugling und Kleinkind die synaptischen Umbauprozesse in den limbischen Emotionsschaltkreisen verändern. Die Folge solcher Fehlverschaltungen im Gehirn: ein falsch geknüpfted neuronales Netzwerk, das Verhaltens- oder Lernstörungen bis hin zu psychischen Erkrankungen bewirken kann. Umgekehrt sollten jedoch auch positive Perspektiven betrachtet werden, die sich aus den tierexperimentellen Befunden ableiten lassen. Die Anpassungsfähigkeit des neugeborenen bzw. frühkindlichen Gehirns ermöglicht es den Eltern und Erziehern, in den ersten Lebensjahren die Entwicklung der limbischen Schaltkreise der Kinder über eine intellektuelle und emotionale Förderung zu optimieren. Gerade diese frühe Phase muss dazu genutzt werden, die gehirnbioologische Basis für spätere Lernleistungen und sozio-emotionale Kompetenz zu bilden.

Zukünftige interdisziplinäre Forschungsinitiativen sollten sich daher damit beschäftigen, wie die neuen entwicklungsbiologischen Erkenntnisse nutzbringend in eine verbesserte frühe (vor-)schulische Erziehung integriert werden können. Darüber hinaus müssen auch Fragen angegangen werden, inwieweit entwicklungsbedingte hirnbioologische Fehlentwicklungen und die damit einhergehenden Verhaltensstörungen optimal korrigiert werden können, u.zw. auch noch während späterer Lebensphasen, in denen die Anpassungsfähigkeit des Gehirns nicht mehr so stark ausgeprägt ist wie in den ersten Lebensjahren.

#### Vermehrung von SYNAPSEN im Präfrontalcortex nach wiederholtem Elternentzug: Chaos im Gehirn ?

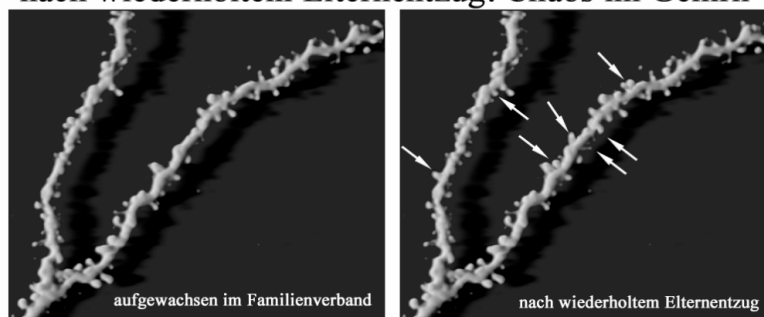


Abb. 4: Nager, die in früher Jugend durch häufige Trennung von den Eltern gestresst wurden, entwickeln im Präfrontalcortex bzw. anterioren cingulären Cortex veränderte (erhöhte) Anzahl von erregenden Spine-Synapsen. Diese dauerhaft veränderte „Verdrahtung“ in einer Region, die u.a. für die Steuerung des emotionalen Verhaltens essentiell ist, ist vermutlich die Ursache einer veränderten Emotionalität bei diesen Tieren.

Aus gehirnbioologischer Sicht sollte es ein oberstes Anliegen sein, die Thematik des „kindlichen Lernens“ neu zu beleuchten und die daraus entstehenden Konsequenzen sowohl für die pädagogische Theorie als auch für die pädagogische Praxis herauszustellen. Wendet man seinen Blick hierbei weiter in Richtung „naturwissenschaftliche For-

schung“, so fällt speziell das enorme Interesse der Hirnforschung und Neurobiologie am kindlichen Lernprozess und an der praktischen Pädagogik ins Auge. So wurden in den USA bereits Anfang der 1990er-Jahre verschiedene Konzepte des *brain-based learning and teaching* entwickelt und (wenn auch nicht in allen Fällen) erfolgreich in die pädagogische erzieherische Praxis umgesetzt. Beispielsweise hatte ein von Nummela Caine und Geoffrey Caine (1994) entwickeltes neurodidaktisches Konzept zum Ziel, „sinnvolles Lernen“ zu ermöglichen und Wissen als „dynamisches Wissen“ zu verstehen. Dadurch sollte nicht eine neue Theorie des Lernens entwickelt werden, sondern schlichtweg die *Qualität* des Lernens verbessert werden. Ausschlaggebend und maßgeblich ist, dass Caine/Caine (1994) keine *Revolution* des Erziehungssystems anstreben, sondern eine *Evolution* beabsichtigen. Vereinfacht dargestellt bestimmen zwölf Prinzipien dieses Konzept:

1. Das Gehirn ist ein lebendes System, es ist eine dynamische Einheit.
2. Das Gehirn ist auf Sozialverhalten hin ausgerichtet, wodurch die enge Verbindung zwischen sozialer Interaktion und Lernen begründet wird.
3. Die Suche nach Bedeutung ist angeboren, d.h. das Gehirn versucht, Neues mit bereits Bekanntem zu verbinden.
4. Die Suche nach Bedeutung geschieht durch Vergleichen von Eigenschaften des Wahrgenommenen, Identifizierung und Extrahierung von Ähnlichkeiten und Unterschieden, Kategorisierung, Prozesse die schließlich in mentale Modelle münden. Diese Vorgehensweise entspricht der netzwerkbasierten Arbeitsweise des Gehirns.
5. Emotionen spielen bei dieser Musterbildung eine entscheidende Rolle. Denken und Emotionen sind untrennbar miteinander verknüpft.
6. Jedes Gehirn nimmt simultan eine Gesamtheit und deren Einzelteile wahr. Es zerlegt eine wahrgenommene Gesamtheit in Einzelteile und kann aus wahrgenommenen Einzelteilen eine Gesamtheit formen.
7. Zum Lernen gehören die gerichtete Aufmerksamkeit sowie die peripheren Wahrnehmungen. Periphere Wahrnehmungen sind z.B. Hintergrundgeräusche wie Musik oder das Lachen der Mitschüler, Gestaltung der Lernumgebung etc.
8. Am Lernvorgang sind stets bewusste und unbewusste Prozesse beteiligt.
9. Jeder Mensch besitzt verschiedene Arten, Gedächtnisinhalte zu ordnen, das deklarative (Fakten), semantische (Bedeutungen), prozedurale (Fertigkeiten) und emotionale (Gefühle) Gedächtnis. Diese Gedächtnisformen müssen in die Planung des Lehrkonzepts, des Lehrplans und in die Durchführung des Lernprozesses integriert werden.
10. Lernprozesse verändern sich im Verlauf der Entwicklung.
11. Komplexe Lernprozesse werden durch Herausforderungen gefördert, jedoch durch *übermäßige* Angst und Bedrohung verhindert, da dies Gefühle der Hilflosigkeit oder Erschöpfung erzeugt. Dies führt wieder zu dem Punkt, dass *high challenge* (Herausforderung, deren optimaler Grad jedoch sehr individuell ist) für Kinder überaus wichtig ist und bestärkt die These, dass Kinder öfter unter- als überfordert werden.

12. Jedes Gehirn ist einzigartig und besitzt daher unterschiedliche Talente und Intelligenzarten. Eine Kindergruppe oder Schulklassse verfügt somit über einen unglaublich reichen Schatz an Talenten, den es optimal zu nutzen gilt.

Ein weiteres Beispiel für „gehirngerechte Pädagogik“ liefert das Konzept von Kovalik/Olsen (2001), welches aus den drei ineinander greifenden Elementen – Gehirnforschung, Lehrstrategien und Lehrplanentwicklung – ein Konzept gehirngemäßen Lernens (*Brain Compatible Learning*) konstruiert, welches über ein Modell der „*Integrated Thematic Instruction*“ (ITI) in der praktischen Umsetzung erfolgreich war. Die Elemente des ITI Modells beinhalten Angstfreiheit, Lerninhalte mit Bedeutung, Wahlmöglichkeiten, Bewegung die das Lernen verstärkt, anregungsreiche Umgebung, ausreichend Zeit, Zusammenarbeit, unmittelbare Rückmeldung. Diese Richtlinien finden sich im Übrigen auch in den zwölf Prinzipien von Caine/Caine (1994) wieder.

Wichtig für Lernprozesse ist die Tatsache, dass die Suche nach Bedeutung angeboren ist. Das Gehirn arbeitet, indem es versucht, Neues mit Vertrautem in Verbindung zu setzen, d.h. die Suche des Gehirns nach Bedeutung ist mit der Identifikation von Mustern und Strukturen gleichzusetzen, aus denen dann mentale Konzepte entwickelt werden. Bei dieser Konzeptbildung spielen Emotionen eine entscheidende Rolle (Caine/Caine 1994). So scheint z.B. das limbische System jede im Gehirn ankommende Information zu filtern, d.h. Emotionen werden als „Türöffner“ für Lernprozesse und Leistungen eingesetzt (Kovalik/Olsen 2001).

Caine/Caine (1994) und Kovalik/Olsen (2001) sind geradezu begeistert von der Einzigartigkeit jedes Gehirns und weisen auf den darin enthaltenen „Schatz“ und seine Bedeutung für die pädagogische Praxis hin. Die Einzigartigkeit impliziert z.B. die Tatsache, dass Menschen aller Kulturen vielfältige Intelligenzformen aufweisen und diese auch benötigen. Doch wie viele Einflussfaktoren auch immer auf den Lernenden einwirken: Kovalik/Olsen (2001) verweisen aus gutem Grund auf den enormen Einfluss der Persönlichkeit, sowohl des Lernenden als auch des Lehrenden, auf den Lernprozess hin.

Aufgrund der bisherigen Überlegungen muss der Bildung in Familie und im Vorschulbereich ein weitaus stärkeres Gewicht zukommen, als es bisher der Fall ist. Aus gehirnbiologischer Sicht sollte es auch nahe liegend sein, gerade in pädagogischen Institutionen sowohl der emotionalen Kompetenz als auch der Entwicklung des Emotionswissens bei Kindern größere Aufmerksamkeit zu schenken (Janke 2002). Die Kindertagesstätten müssen demnach von ihrem fragwürdigen Status als „Betreuungseinrichtung“ (schon symbolisiert durch die unbeseelte Bezeichnung „Tagesstätte“) und ihrer derzeitigen Fokussierung auf „Betreuung“ statt „Anregung“ weg und hin zu ihrem Auftrag als Bildungseinrichtung: viel treffender in der alten, mittlerweile weltweit gebräuchlichen Bezeichnung *Kindergarten* ausgedrückt, in dem etwas heranwächst das gehegt und gepflegt werden muss! Darüber hinaus muss der individuellen Entwicklung des einzelnen Kindes (und vor allem seines Gehirns!) mehr Rechnung getragen werden, denn die psychische und gehirnbiologische Reife ist mitnichten über das Lebensalter messbar. Daher besteht eine weitere Forderung darin, den Übergang und die Zusammenarbeit zwischen

Kindergarten und Grundschulen und auch eine intensivere Zusammenarbeit dieser Einrichtungen mit den Eltern maßgeblich zu verbessern.

Es ist der längst überfällige Zeitpunkt gekommen, die traditionell getrennt arbeitenden Disziplinen Entwicklungspsychologie, Erziehungswissenschaft und die Neurowissenschaften zu einem eigenständigen interdisziplinären Forschungsgebiet „Neuropädagogik“ zusammen zu führen, um gemeinsame Förderkonzepte entwickeln zu können. Auf wissenschaftlicher Ebene existieren dazu bereits vielversprechende Ansätze. Es müssen jedoch zeitgleich auch praxisorientierte Konzepte erarbeitet werden, die möglichst umgehend in die Tat umgesetzt und dann auch wissenschaftlich evaluierbare Ergebnisse erbringen sollten.

## Literatur

- Arnold, M. (2002): Aspekte einer modernen Neurodidaktik. Emotionen und Kognitionen im Lernprozess. München: Verlag Ernst Vögel.
- Bock, J./Braun, K. (1998): Differential emotional experience leads to pruning of dendritic spines in the forebrain of domestic chicks. In: *Neural Plasticity* 6, S. 17-27.
- Bock, J./Braun, K. (1999a): Filial imprinting in domestic chicks is associated with spine pruning in the associative area, dorsocaudal neostriatum. In: *European Journal of Neuroscience* 11, S. 1-5.
- Bock, J./Braun, K. (1999b): Blockade of N-methyl-D-aspartate receptor activation suppresses learning-induced synaptic elimination. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96 (5), S. 2485-2490.
- Braun, K./Bogerts, B. (2000): Einfluss frühkindlicher Erfahrungs- und Lernprozesse auf die funktionelle Reifung des Gehirns: Relevanz für die Entstehung und Therapie psychischer Erkrankungen. Psychother. In: *Psychotherapie – Psychosomatik – Medizinische Psychologie* 50, S. 1-8.
- Caine, R./Caine, G. (1994). *Making Connections: Teaching and the Human Brain*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Helmeke, C./Poeggel, G./Braun, K. (2001a): Differential emotional experience induces elevated spine densities on basal dendrites of pyramidal neurons in the anterior cingulate cortex. In: *Neuroscience*, 104, S. 927-931.
- Helmeke, C./Ovtscharoff jr., W./Poeggel, G./Braun, K. (2001b): Juvenile emotional experience alters synaptic composition in the anterior cingulate cortex. In: *Cerebral Cortex*, 11, S. 717-727.
- Janke, B. (2002): *Entwicklung des Emotionswissens bei Kindern*. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe Verlag.
- Kovalik, S./Olsen, K. (2001): *Exceeding expectations: A user's guide to implementing brain research in the classroom*. Covington, WA: Books for Educators, Inc.
- Meier, M. (2004): *Neuropädagogik: Entwurf einer neuropädagogischen Theorie ästhetischer Erziehung und Möglichkeiten ihrer praktischen Umsetzung auf der Grundlage interdisziplinärer Erkenntnisse aus Pädagogik, Psychologie und Hirnforschung (in Vorbereitung)*.
- Stark, H./Bischof, A./Scheich, H. (1999): Increase of extracellular dopamine in prefrontal cortex of gerbils during acquisition of the avoidance strategy in the shuttle-box. In: *Neuroscience Letters* 264, S. 77-80.
- Stark, H./Bischof, A./Wagner, T./Scheich, H. (2000): Stages of avoidance strategy formation in gerbils are correlated with dopaminergic transmission activity. In: *European Journal of Pharmacology* 405, S. 263-275.
- Stark H./Bischof A./Wagner T./Scheich H. (2001): Activation of the dopaminergic system of medial prefrontal cortex of gerbils during formation of relevant associations for the avoidance strategy in the shuttle-box. In: *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry* 25, S. 409-426.



**Glossar**

(vgl. auch die Abbildungen im Beitrag von Roth)

Das Gehirn ist aus zwei verschiedenen Zelltypen aufgebaut:

*Neurone* = Nervenzellen, die der Informationsübertragung dienen;

*Glia(-zellen)* = „Partnerzellen“ der Nervenzelle, die in anderer, zum Teil noch nicht ganz bekannter Weise an der Informationsübertragung beteiligt sind.

Eine Nervenzelle besteht aus:

- 1) dem *Soma* = Zellkörper, in dem ein Zellkern sitzt;
- 2) *Dendriten* = Ausläufer der Nervenzelle, auf dem die Informationen anderer Nervenzellen, vermittelt über die chemischen Signale (Ausschüttung von *Neuro-Transmitter* = chemischer Botenstoff) der *Synapsen* (= Struktur des Neurons, an der Information zwischen Nervenzellen ausgetauscht werden) eintreffen. Das chemische Signal wird an der Synapse in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches dann in den Zellkörper weitergeleitet wird. Vom Zellkörper aus läuft das elektrische Signal dann in das
- 3) *Axon* = Ausläufer der Nervenzelle, welcher in einer oder mehreren Synapse(n) endet, an dem das elektrische Signal dann wieder in ein chemisches Signal (s.o.) umgewandelt und dem Dendriten anderer Nervenzellen „mitgeteilt“ wird.

*Dopamin*, *Serotonin*, *GABA* sind Neurotransmitter, die wie oben beschrieben bei der Informationsübertragung zwischen Neuronen an deren Synapsen als Botenstoff dienen.

*Cortex* = Großhirnrinde, eine vor allem beim Menschen besonders groß entwickelte Struktur, die nochmals unterteilt werden kann in Bereiche mit unterschiedlicher Funktion, z.B. auditorischer Cortex = Hörrinde, visueller Cortex = Sehrinde usw.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass *Deprivation* (= Mangel bzw. völliges Fehlen von sensorischen, motorischen und emotionalen Umweltreizen) die funktionelle Reifung des präfrontalen Cortex (= Assoziationscortex) und vermutlich auch das gesamte *limbische System* (= ein über Synapsen miteinander kommunizierendes System verschiedener Hirnregionen, welches maßgeblich bei Lernprozessen und der Gedächtnisbildung, aber auch bei der Wahrnehmung und Entstehung von Gefühlen und gefühlbetonten Verhaltensweisen beteiligt ist) in vermutlich negativer Weise beeinflusst.

**Abstract:** *Learning during the earliest phases of adolescence differs from learning in adulthood in that experiences and learning processes leave by far deeper and long-lasting traces in the brain of a child as compared to the brain of an adult, in which only slight changes occur in the course of learning processes. Results gained in animal experiments carried out in neurological research suggest that, from the neuro-biological perspective, early sensory impressions, experiences, and learning processes are “used” to optimize the maturing of the as yet immature functional circuits, especially the limbic “reward” system in the brain. To put it crudely, this could be compared to what in computer language is called “the formatting of the hard disk”. Thus, relatively early in life, the “hardware” – the brain – is equipped with basic concepts for subsequent learning, but also with the emotional world of experience inextricably linked with each learning process.*

*Anschriften der Autorinnen:*

Prof. Dr. Anna Katharina Braun, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Biologie,  
Lehrstuhl für Zoologie/Entwicklungsneurobiologie, Brenneckestr. 6, 39118 Magdeburg,  
E-Mail: katharina.braun@nat.uni-magdeburg.de.

Michaela Meier, M.A., Universität Passau, Zentrum für Lehrerbildung und Fachdidaktik, Derzeit:  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.